

## TRANSPORTS FLUVIAUX DE MATIÈRES DISSOUTES ET PARTICULAIRES SUR UN BASSIN VERSANT EN RÉGION TROPICALE : LE BASSIN AMONT DU NIGER AU COURS DE LA PÉRIODE 1990-1993

Jean-Loup BOEGLIN<sup>1</sup> \* et Jean-Luc PROBST<sup>1</sup>

**RÉSUMÉ** - Entre janvier 1990 et juillet 1993, 85 échantillons ont été prélevés sur les eaux du Niger à la station de Bamako (Mali). A partir des analyses effectuées et des données de débits disponibles sur cette période particulièrement sèche, ont pu être calculés les flux spécifiques pour les différentes espèces dissoutes (par ordre décroissant :  $\text{HCO}_3^- > \text{SiO}_2 \gg \text{COD} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} \gg \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \gg \text{Fe} > \text{Al}$ ) et le flux spécifique des matières en suspension. Le flux spécifique de TDS - caractéristique de l'intensité de l'altération chimique - est de 8 t/km<sup>2</sup>/an, alors que le flux de TSS - représentatif de la vitesse de l'érosion mécanique - est de 5 t/km<sup>2</sup>/an. Ces flux de matières dissoutes et particulaires sont ensuite comparés à ceux de 16 bassins fluviaux d'Afrique tropicale. On a pu enfin déterminer des relations TDS-drainage et TSS-drainage caractéristiques de cette zone tropicale.

Fleuve Niger, Guinée, Mali, Afrique tropicale, Chimie des eaux, Flux dissous, Flux particulaire

**Fluvial transports of dissolved and suspended matters in a tropical river basin : the upper Niger basin during the period 1990-1993**

**ABSTRACT** - During the period January 1990-July 1993, 85 samples were collected in the Niger river waters at Bamako sampling station (Mali). The chemical analyses and the available river discharge data allowed us to calculate specific fluxes of different solute elements (in decreasing order :  $\text{HCO}_3^- > \text{SiO}_2 \gg \text{COD} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} \gg \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \gg \text{Fe} > \text{Al}$ ) and of suspended matter. The specific flux of TDS, which characterizes the chemical weathering rate, is estimated to 8 t/km<sup>2</sup>/year. Whereas the TSS flux, which characterizes the mechanical erosion rate, averages 5 t/km<sup>2</sup>/year. These fluxes of solute and suspended matters are compared with those of 16 river basins of tropical Africa. Relationships between TDS or TSS and drainage are determined for all these river basins characterizing this tropical zone.

Niger river, Guinea, Mali, Tropical Africa, Hydrochemistry, Dissolved fluxes, Particular flux

### INTRODUCTION

Les études déjà menées sur les latérites, notamment en Afrique tropicale, ont permis d'appréhender la dynamique passée de ce type de profils d'altération et de paysages (NAHON, 1976 ; LEPRUN, 1979 ; TARDY, 1993). Les données de flux de matières exportés sur un bassin versant constituent certainement une des clés pour une meilleure compréhension de la dynamique actuelle des couvertures latéritiques ; celles-ci sont particulièrement bien développées en Guinée et au Mali méridional (FREYSSINET, 1990 ; BOURDEAU, 1991). L'objectif de ce travail est de quantifier l'intensité de l'altération chimique et de l'érosion mécanique sur le haut bassin du Niger, en utilisant respectivement les flux totaux exportés en solution (TDS) et en suspension (TSS)

<sup>1</sup> Centre de Géochimie de la Surface (CNRS), 1 rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex, France

\* ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération), 213 rue La Fayette, 75480 Paris Cedex 10, France --- en affectation au CGS/CNRS



par les eaux de surface. On présente tout d'abord dans ce premier article les variations de concentrations des matières dissoutes et particulières obtenues à partir des prélèvements effectués bimensuellement à la station de Bamako au cours de la période résolument sèche 1990-1993, et les flux qui ont pu être déterminés à partir de ces concentrations et débits. On compare ensuite les résultats obtenus sur le bassin amont du Niger avec les données relatives aux flux de matières exportés sur les autres bassins fluviaux d'Afrique tropicale.

### CONTEXTE NATUREL

Les débits du Niger amont ont été mesurés à la station de Koulikoro au Mali, qui permet de contrôler l'ensemble du bassin versant du Niger supérieur. Cette station est située à 850 km de la source (la longueur à l'embouchure, au Nigeria, étant de 4 200 km), et la superficie du bassin versant drainé est de 120 000 km<sup>2</sup>. Toutefois, tous nos prélèvements ont été effectués à une dizaine de kilomètres en amont de Bamako, pour éviter les pollutions urbaines ; la longueur du cours d'eau y est d'environ 800 km pour une superficie du bassin de 117 000 km<sup>2</sup>.

Le Niger, appelé Djoliba (le «Grand Fleuve») dans son cours supérieur, naît sur le rebord nord de la Dorsale guinéenne —prolongement sud-est du Fouta Djalon— à 800 m d'altitude et à environ 200 km de l'océan Atlantique, aux confins de la Guinée et de la Sierra Leone. Entre sa source et la ville de Bamako, il reçoit les principaux affluents suivants : le Niandan et le Milo en rive droite, puis à hauteur de Siguiri le Tinkisso en rive gauche ; au Mali le Sankarani —sur lequel a été construit le barrage de Sélingué—, grossi de l'Ouassouloubalé.

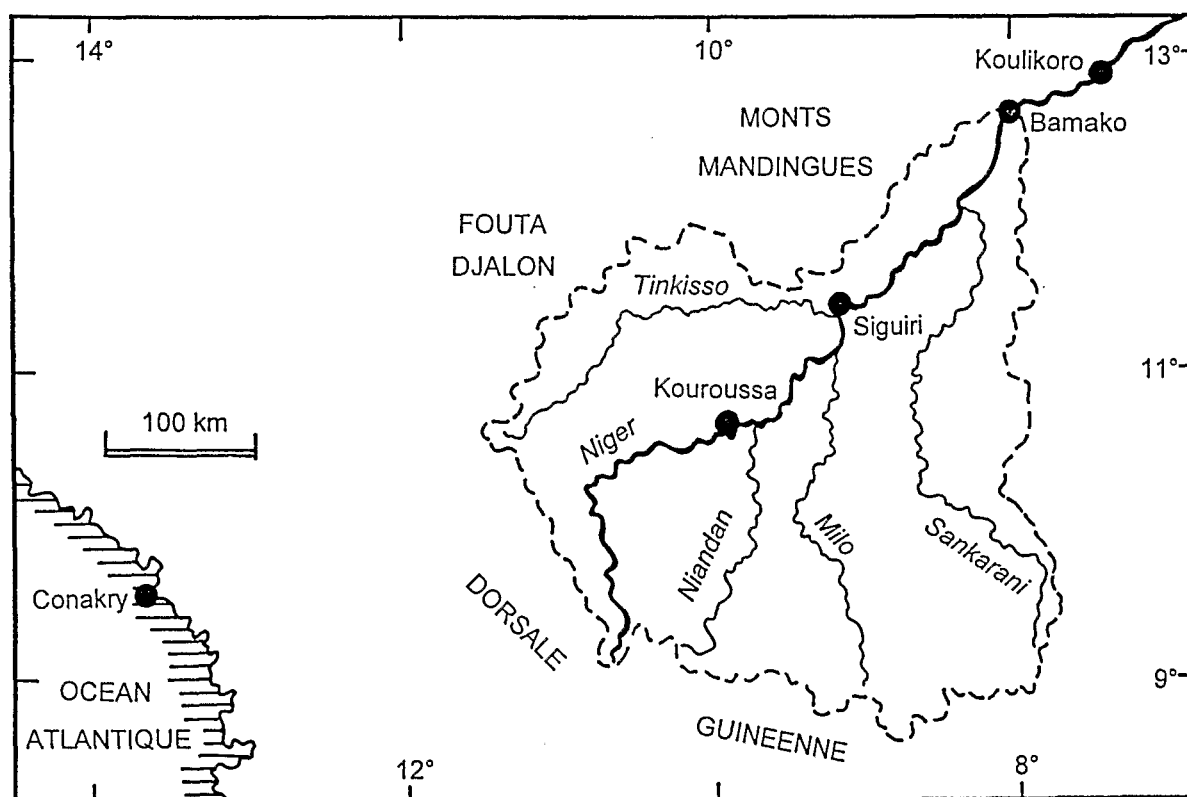


Fig. 1- Carte de situation du bassin amont du Niger. Situation map of the upper Niger basin.

L'ensemble du bassin amont du Niger est représenté sur la figure 1 ; on y a reporté les isohyètes moyennes annuelles, d'après BOULVERT (1992).

Dans son cours supérieur, le fleuve traverse des zones très différentes par leur modelé, leur nature géologique et pédologique, ainsi que par leur climat et leur végétation ; de telles variations des conditions naturelles ne sont pas sans influencer sur le régime du fleuve. Sur ses quarante premiers kilomètres, dans le contrefort septentrional assez fortement pentu du massif, il s'agit d'un torrent ; le climat est de type guinéen humide forestier (précipitations  $P > 1\,750$  mm/an). Ensuite le régime, irrégulier du fait d'affluents issus des régions montagneuses, se stabilise progressivement vers l'aval ; on passe d'un climat guinéen forestier ( $P > 1\,500$  mm/an) jusqu'à Kouroussa à un climat sud-soudanien ( $1\,500 < P < 1\,000$  mm/an), avec une saison des pluies bien individualisée et se raccourcissant vers le Nord de Siguiri, à Bamako puis Koulikoro : c'est le domaine de la forêt claire et de la savane arborée. Après une série de rapides, le fleuve s'écoule en aval de Kouroussa jusqu'à Bamako dans une large plaine d'inondation, de pente très faible ; celle-ci se rétrécit localement, entre Bamako et Koulikoro : le Niger emprunte alors une étroite vallée rocheuse, barrée vers son entrée par les rapides de Sotuba. Après Koulikoro, le fleuve s'écoule dans une vaste cuvette qui, en aval de Ségou, constitue le «delta intérieur» dont la surface inondée varie considérablement lors du cycle saison sèche-saison humide. On passe du domaine nord-soudanien à savane arbustive ( $500 < P < 1\,000$  mm/an) au domaine sahélien à végétation steppique ( $200 < P < 500$  mm/an) en aval de Ségou, voire sud-saharien ( $P < 200$  mm/an) dans la partie la plus septentrionale du delta intérieur, vers Tombouctou. A noter qu'à partir de Koulikoro la forte évaporation provoque une diminution des débits moyens annuels.

Sur le plan de la géologie, le haut bassin du Niger comporte fondamentalement les formations birrimiennes du socle, constituant la quasi-totalité du substratum (BESSOLE, 1977 ; MILESI *et al.*, 1986) et, dans sa partie septentrionale, au Mali, la couverture détritique du Protérozoïque supérieur (BASSOT *et al.*, 1981). Les premières sont essentiellement représentées par des schistes et des grauwackes, d'âge Précambrien C, faiblement métamorphisés. Différentes orogénies –notamment l'orogénèse éburnéenne (vers 1 800 Ma) qui termine le cycle birrimien– sont responsables de la granitisation des séries précédentes ; dans ces granites généralement de nature calco-alcaline, on observe localement de grandes enclaves de gneiss ou d'ultrabasites. L'érosion partielle des formations du craton ouest-africain a fourni les matériaux de la couverture sédimentaire ; dans la région considérée, celle-ci est exclusivement formée par les grès du Précambrien A (vers 600 Ma) en bordure du bassin de Taoudéni. Accessoirement ont été signalées des dolérites, mises en place lors d'épisodes intrusifs d'âge permien ou triasique. Il convient de signaler déjà à ce niveau que l'absence de tout substratum carbonaté ou évaporitique sur le bassin versant considéré présente un grand intérêt dès lors qu'il s'agit d'établir des bilans d'altération.

L'ensemble de la zone étudiée correspond au domaine des formations latéritiques. Il s'agit essentiellement de sols ferrallitiques sur le secteur en amont de Siguiri, et de sols ferrugineux tropicaux plus en aval et jusqu'au-delà de Bamako. La répartition de ces types de sols, définis par PEDRO (1968), reflète un degré d'hydrolyse plus poussé dans les zones méridionales très humides du bassin. Le cuirassement, ferrugineux ou bauxitique, affecte fréquemment la partie supérieure des profils latéritiques de Guinée (MAIGNIEN, 1958), comme ceux du Mali (MAZALTARIM, 1989 ; BOURDEAU, 1991).

## PRÉCIPITATIONS ET DÉBITS

Pour les années 1990, 1991 et 1992 durant lesquelles ont été effectués les prélèvements à la station de Bamako, les données climatiques et hydrologiques utilisées sont disponibles dans les annuaires maliens de la Direction Nationale de la Météorologie et de la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie. Les valeurs de précipitation et de débits obtenues pour les années étudiées à la station de Bamako sont comparées aux moyennes correspondant aux périodes 1951-1980 et 1981-1989 (BRUNET-MORET *et al.*, 1986 ; archives DNM) ;

la première, longue de 30 ans, englobant des séquences plus sèches et d'autres plus humides peut être considérée comme «normale» ; la seconde représente un épisode résolument sec, à caractère exceptionnel.

Tabl. 1- *Précipitations et débits moyens annuels et interannuels à Bamako*. Mean annual and interannual precipitations and river discharge at Bamako

Périodes	Précipitations annuelles à Bamako (mm/an)	Débits moyens annuels du Niger (m <sup>3</sup> /s)
1990	1 101,5	713,7
1991	904,7	741,2
1992	929,5	749,0
1951-1980	1 085 ± 200	1 510 ± 335
1981-1989	886 ± 150	782 ± 141

En l'absence de mesures de débits à Bamako, ceux-ci ont été estimés en corrigeant les valeurs obtenues à Koulikoro (environ 60 km en aval) par le rapport des superficies des bassins versants entre ces deux stations (soit 117 000 km<sup>2</sup>/120 000 km<sup>2</sup> = 0,975). Une telle extrapolation apparaît justifiée par le fait qu'aucun affluent notable ne se jette dans le Niger entre ces deux points ; en outre, l'évaporation des eaux du fleuve, qui s'avère en effet forte en zone sahélienne, est très réduite en amont de Koulikoro.

Comme on peut le voir dans le tableau 1, la période étudiée correspond à trois années sèches qui s'inscrivent dans la continuité de la séquence sèche débutant vers 1970, reconnue sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest (SIRCOULON, 1976) et plus particulièrement sur le bassin du Sénégal (SOW, 1984 ; GAC et FAURE, 1987). Par ailleurs, les débits moyens annuels à l'exutoire ne présentent que de faibles écarts entre les années 1990, 1991 et 1992 ; la lame d'eau annuellement écoulée pour la moyenne de ces trois années est de 198 mm, alors qu'elle était de 407 mm sur la période 1951-1980. D'après ORANGE (1992), la pluviométrie sur le haut bassin du Niger, considérant Siguiri pour exutoire, est de 1 670 mm en année «normale» et de 1 389 mm en année sèche. A partir de ces chiffres, on peut admettre une valeur moyenne de 1 500 mm pour les précipitations sur la période 1951-1980, et de 1 250 mm sur la période 1990-1992 si on considère le bassin supérieur du Niger, en amont de Bamako. Le coefficient d'écoulement serait dans ce cas de 0,27 en année «normale» et de 0,16 seulement pour la moyenne des trois années sur lesquelles porte ce travail.

## PRÉLÈVEMENTS ET ANALYSES

L'échantillonnage des eaux du Niger a été réalisé bimensuellement entre le 13 janvier 1990 et le 13 juillet 1993 à la station de Samaya, située à quelques kilomètres en amont de Bamako, afin d'éviter les pollutions urbaines ; 85 échantillons ont ainsi été collectés au total durant cette période. Les prélèvements ont été effectués à environ 200 m de la rive gauche, en un endroit où la largeur du fleuve atteint 1,5 km ; suivant les saisons le lit du cours d'eau se trouvait à une profondeur variable, entre 0,8 m et 2,5 m, des bancs de sable affleurant en basses eaux.

La température, le pH ainsi que la conductivité des eaux ont été mesurés sur le terrain. Les matières en suspension (MES) ont été récupérées par filtration à 0,45 µm sur filtre Millipore en acétate de cellulose. Le filtrat a été analysé au Laboratoire de Géochimie des Eaux du Centre de Géochimie de la Surface (CGS/CNRS) de Strasbourg (KREMPP, 1988 ; PROBST *et al.*, 1992), les cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>) ont été dosés par absorption atomique (précision 1 µmole/l), les anions (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) par chromatographie ionique (précision 1 µmole/l), la silice totale a été mesurée par colorimétrie après complexation au molybdate

d'ammonium (précision 1  $\mu\text{mole/l}$ ), l'alcalinité par titration à l'acide sulfurique par la méthode de Gran (précision 1  $\mu\text{eq/l}$ ). Pour les cations et la silice dissoute, des tests ont été effectués en double sur des échantillons acidifiés pour vérifier s'il n'y avait pas d'évolution des concentrations dans les flacons après prélèvement sur le terrain. Après filtration sur filtre en fibre de verre (GFF Whatman), le carbone organique dissous (COD) a été analysé par combustion à 680°C en présence d'un catalyseur en platine et détection du  $\text{CO}_2$  par infrarouge non dispersif sur un appareil Shimadzu TOC 5 000 (précision 0,1 mg/l).

Les résultats des analyses chimiques effectuées sur l'ensemble des échantillons prélevés au cours de la période d'étude (1990-1993) sont donnés en annexe.

### VARIATIONS SAISONNIÈRES ET INTERANNUELLES DES CONCENTRATIONS EN ÉLÉMENTS DISSOUS ET EN MATIÈRES EN SUSPENSION

Les variations des concentrations en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SiO}_2$ , MES entre janvier 1990 et juillet 1993 à la station de Bamako font l'objet des figures 2 et 3. Les variations du COD entre décembre 1991 et juillet 1993 sont reportées sur la figure 4 ; ces courbes de concentration sont superposées aux hydrogrammes correspondants. Par ailleurs, les valeurs de concentrations moyennes annuelles calculées pour chaque année, puis pour l'année moyenne 1990-91-92, figurent dans le tableau 2.

Tabl. 2- Concentrations moyennes annuelles des éléments dissous et particuliers des eaux du Niger à Bamako pour les années 1990, 1991 et 1992. Mean annual concentrations of solute and suspended matter in the Niger river water at Bamako for the years 1990, 1991, 1992

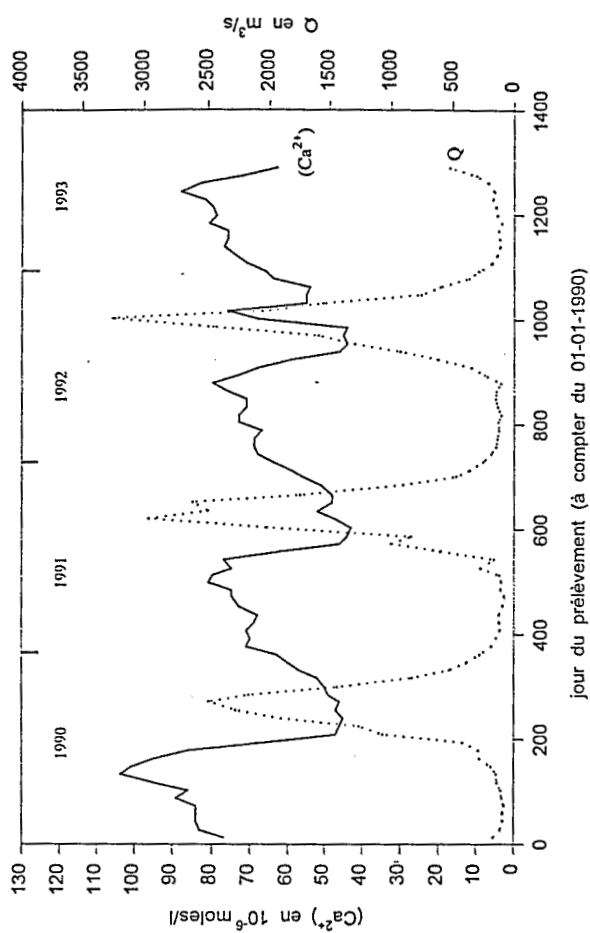
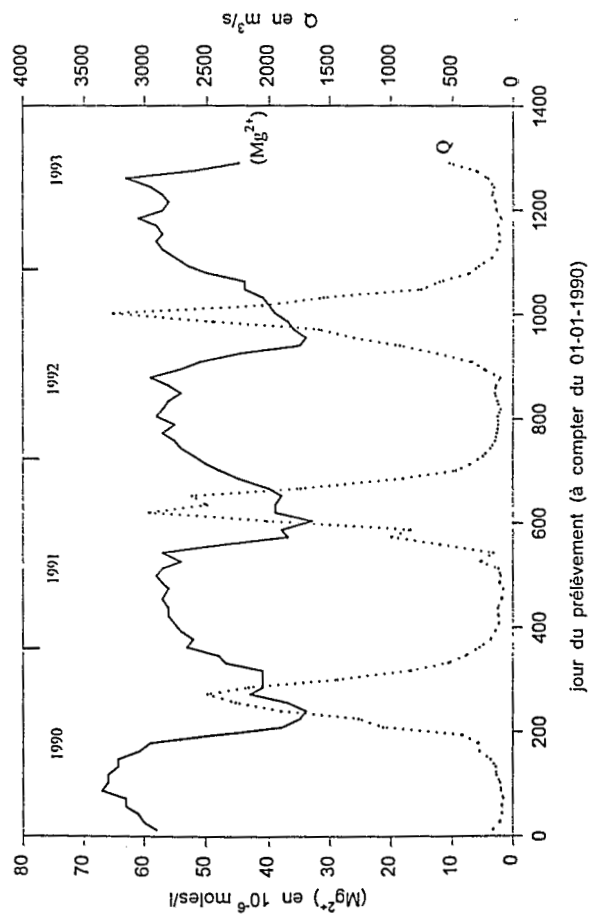
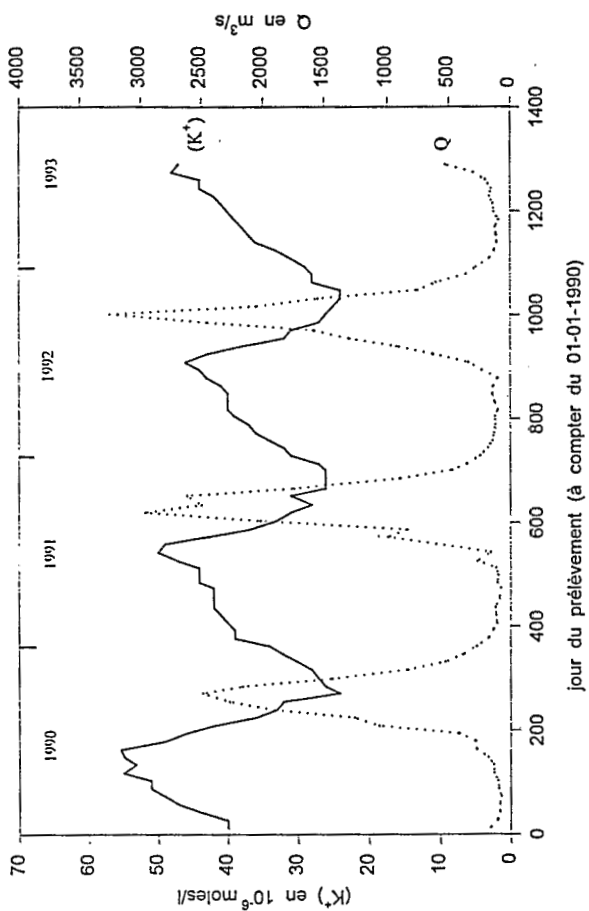
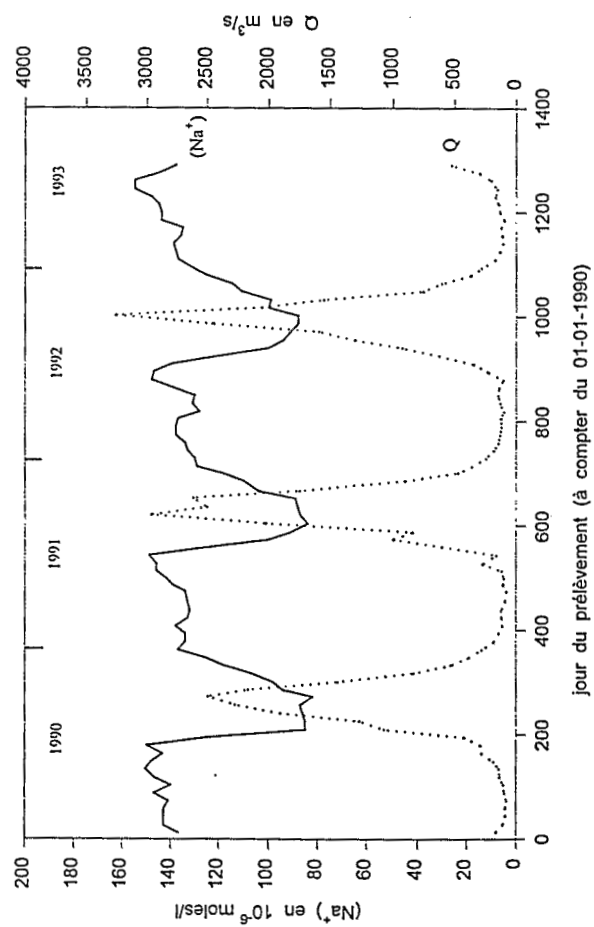
	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SiO}_2$	COD	MES
1990	98,4	32,7	42,3	53,2	269,3	10,2	237,3	-	23,8
1991	99,1	32,5	40,8	51,1	292,1	8,5	251,1	-	25,4
1992	101,6	29,6	40,9	58,9	310,4	8,1	254,6	2,25	24,2
Moy. période	$99,7 \pm 3,6$	$31,6 \pm 1,4$	$41,5 \pm 0,5$	$54,4 \pm 3,8$	$299,8 \pm 11,8$	$8,9 \pm 0,7$	$247,9 \pm 13,8$	-	$24,5 \pm 1,3$

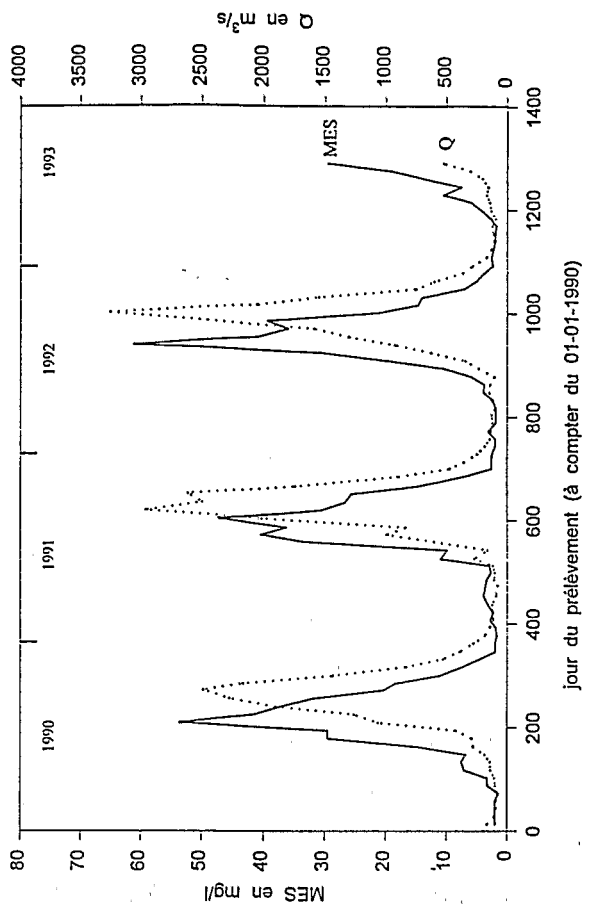
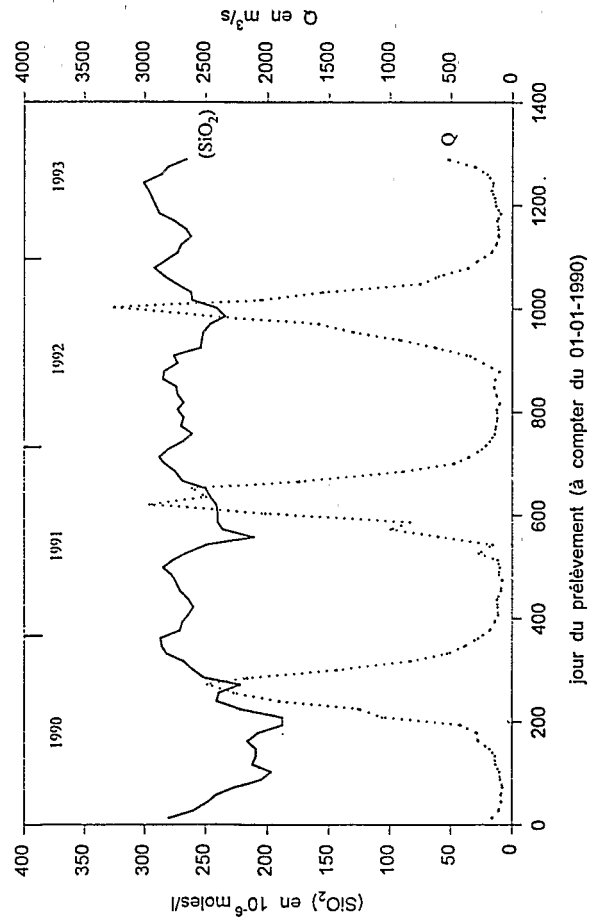
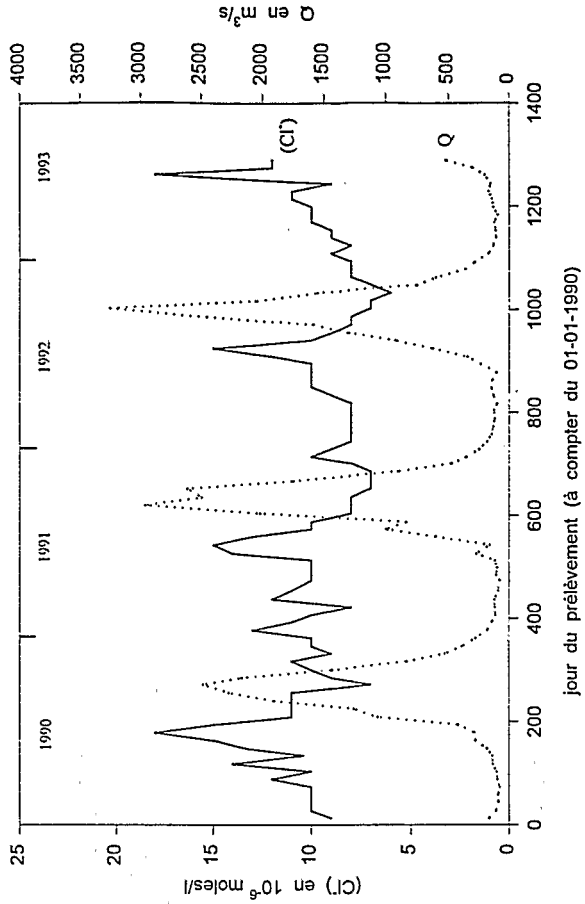
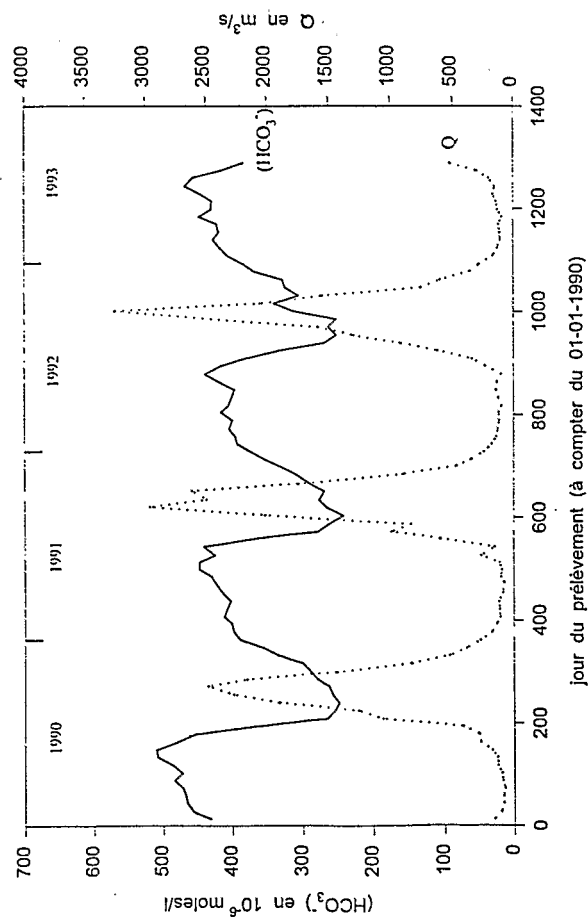
Les concentrations sont exprimées en  $\mu\text{moles/l}$  (dans le cas du COD et de MES, en mg/l). Les concentrations moyennes annuelles sont déterminées à partir de 24 échantillons et pondérées par les débits.

• Les débits (d'après les annuaires de la DNHE), quoique légèrement croissants entre 1990, 1991 et 1992 (les écarts entre débits moyens annuels pour les années extrêmes restant inférieurs à 5 %, voir tabl. 1), montrent des variations très comparables, caractéristiques d'un climat tropical contrasté. Le tracé des hydrogrammes ne présente, sur les trois années considérées, que des irrégularités minimales. La crue, bien marquée, couvre la période allant de mi-juillet à mi-novembre, le pic correspondant à fin-septembre et mi-octobre ; quant à l'étiage, il se situe entre mi-mars et mi-avril.

Fig. 2- Variations des concentrations en différents cations dans les eaux du Niger à Bamako au cours de la période janvier 1990-juillet 1993. Variations of cation concentrations in the Niger river water at Bamako, during the period January 1990-July 1993.

Fig. 3- Variations de la concentration en anions, en silice et en MES des eaux du Niger à Bamako au cours de la période janvier 1990-juillet 1993. Variations of anions, silica and suspended matter concentrations in the Niger river water at Bamako, during the period January 1990-July 1993.





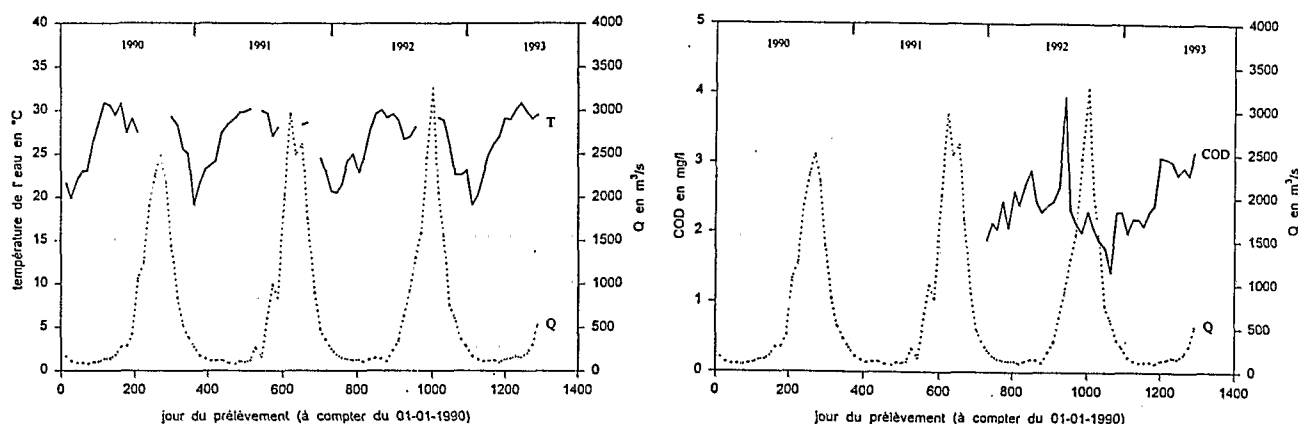


Fig. 4- Variations de la concentration en COD et de la température de l'eau du Niger à Bamako au cours de la période janvier 1990-juillet 1993. Variations of DOC concentrations and of water temperature of the Niger river at Bamako, during the period January 1990-July 1993.

• La température des eaux du fleuve, mesurée chaque quinzaine vers 9 heures (fig. 4, quelques valeurs manquant aux alentours du maximum des crues), varie entre 19°C/20°C et 30°C/31°C au cours des cycles annuels 1990-91-92. Ces températures sont supérieures à 27°C pendant 8 mois de l'année (mi-mars ou début avril jusqu'à mi ou fin novembre) avec un pic principal atteignant 30°C ou 31°C juste avant le début de la saison des pluies (de mi-mai à fin mai) ; une chute (27°C à 28°C) au moment de la montée de la crue-précède un pic secondaire correspondant vraisemblablement à la période des hautes eaux. De fin novembre à fin mars, les températures sont inférieures à 27°C ; les valeurs minimales, entre 19°C et 20°C, très marquées, coïncident avec la phase ultime de la crue, juste avant le retour aux conditions de basses eaux. Il convient de noter que les variations des températures de l'eau du fleuve suivent approximativement celles de l'air dont les moyennes mensuelles sont comprises entre 24°C et 31°C (DNM, 1990, 1991, 1992) ; les maxima de ces dernières précèdent légèrement le pic de température des eaux, situé juste avant le début des pluies.

• Le pH mesuré sur le terrain au cours de trois années de notre étude varie entre 6,4 et 7,7 environ. Les valeurs du pH déterminées au laboratoire sur les filtrats sont comprises entre 6,9 et 7,7 ; il semble que les pH les plus faibles obtenus au laboratoire coïncident avec les périodes de crue.

• La conductivité des eaux ramenée à 20°C varie entre 11 et 49  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ; très visiblement, les valeurs les plus faibles correspondent aux périodes des crues, quand se produit une forte dilution. La très bonne corrélation existant entre conductivité et somme des cations est mise en évidence sur la figure 5.

• La balance ionique s'équilibre de façon très satisfaisante. Sauf exceptions, la somme des cations se révèle légèrement supérieure à la somme des anions ; l'écart moyen entre les deux est de l'ordre de 2 %, ses valeurs maximales restant inférieures à 6 %. Sur le Congo, PROBST *et al.* (1992) attribuent cette différence à la présence d'anions organiques non dosés.

• Les quatre cations principaux ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) dosés dans les eaux du Niger présentent au long du cycle annuel des variations de teneurs très semblables, avec une forte diminution des concentrations au moment des hautes eaux (voir fig. 2) ; entre la saison sèche et la période de crue, la concentration des différents cations en solution est multipliée par un facteur compris entre 1,5 et 1,8. Les variations interannuelles apparaissent également très comparables : à titre indicatif, les concentrations moyennes relatives aux trois années étudiées ont été reportées dans le tableau 2. Les différents cations présents dans les eaux du Niger à Bamako sont donc, par ordre d'abondance décroissante :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ .

• Parmi les anions, les ions bicarbonates se révèlent très prédominants : les concentrations moyennes en bicarbonates sont données pour les trois années considérées dans le tableau 2. On peut ainsi voir que les bicarbonates représentent en moyenne 95,8 % de la somme des charges négatives de la solution. La courbe des



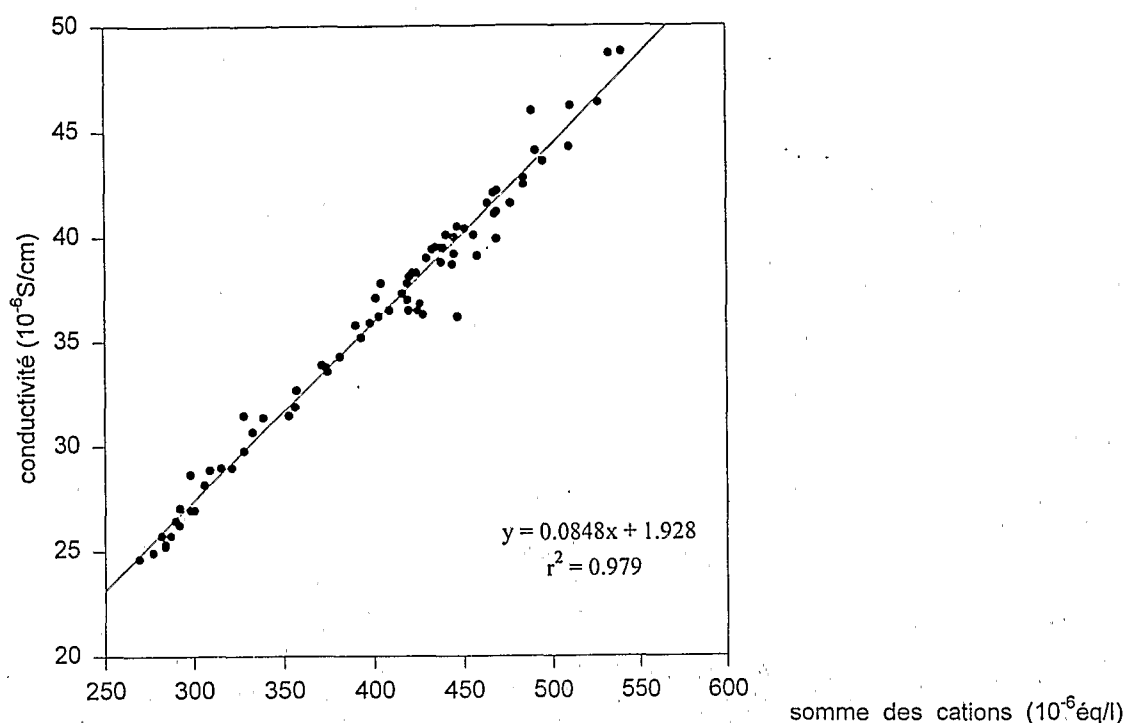


Fig. 5- Relation entre la conductivité et la somme des cations pour les eaux du Niger à Bamako au cours de la période janvier 1990-juillet 1993. Relationship between conductivity and sum of cations in the Niger river water at Bamako, during the period January 1990-July 1993.

variations des ( $\text{HCO}_3^-$ ) présente une allure très comparable à celles des différents cations, avec une diminution nette en période de crue et des écarts interannuels faibles (voir fig. 2 et 3) ; le facteur de concentration entre basses eaux et hautes eaux est de l'ordre de 1,70 dans le cas des ions bicarbonates.

En ce qui concerne les autres anions en solution,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  ne présentent que rarement des concentrations supérieures à la limite de détection (1  $\mu\text{mole/l}$ ). Les teneurs dosées en sulfates sont souvent très proches du seuil de détection (1  $\mu\text{mole/l}$ ) ; leurs variations ne peuvent donc pas être considérées comme réellement significatives. Pour les chlorures, les teneurs moyennes en 1990, 1991 et 1992 se trouvent dans le tableau 2. La courbe des variations de ces teneurs (voir fig. 3) apparaît assez irrégulière ; c'est juste avant le début des crues que se situent les pics, bien délimités, des plus fortes concentrations en  $\text{Cl}^-$ .

- La silice en solution ne présente, par rapport aux cations et aux anions dosés dans les eaux du Niger, que des variations de concentration très faibles au cours des trois cycles annuels étudiés (voir fig. 3) ; les valeurs des écarts-types, particulièrement peu élevées si on les ramène à celles des teneurs moyennes annuelles en silice (tabl. 2), rendent bien compte de ce fait. Outre cette différence d'amplitude, il semble que les variations de teneurs en silice sont en avance (de l'ordre d'un mois) par rapport à celles des autres espèces dissoutes. La concentration en silice se révèle très forte, du même ordre de grandeur (si on considère les valeurs molaires) que la somme des concentrations en sodium, potassium, magnésium et calcium dans les eaux du fleuve.

- La teneur de matières en suspension (totalité de la fraction supérieure à 0,45  $\mu\text{m}$  incluant matières organiques et inorganiques) varie très fortement tout au long du cycle annuel comme on le voit sur la courbe correspondante de la figure 3 ; par ailleurs, les variations interannuelles sur la période considérée sont similaires. Les concentrations annuelles moyennes de MES pour 1990, 1991 et 1992 sont reportées dans le tableau 2. A partir des courbes, on note que les pics de fortes valeurs en MES présentent un net décalage par rapport aux pointes de débits, l'avance observée étant de un à deux mois. Ce comportement a déjà été observé par KATTAN

et al. (1987) sur le fleuve Sénégal et par MARTINS et PROBST (1991) pour différents fleuves d'Afrique. Le facteur de concentration entre les teneurs minimales (2 mg/l en janvier) et maximales (50 à 60 mg/l fin juillet ou août) est de l'ordre de 25.

• Les variations de concentration en carbone organique dissous (COD) entre décembre 1991 et juillet 1993 font apparaître un maximum très accusé vers la fin juillet, en avance d'environ 2 mois par rapport au pic de crue, tandis que le minimum, situé fin novembre, correspond à la descente des eaux (fig. 4).

### FLUX DE MATIÈRES À L'EXUTOIRE DU BASSIN AMONT DU NIGER

Ces flux de matières en solution (TDS = cations + anions + silice) et en suspension (MES) exportés à l'exutoire du bassin versant du Niger supérieur (superficie : 117 000 km<sup>2</sup>, en amont de Bamako) ont été calculés pour chacune des années 1990, 1991, 1992 par la méthode dite des «bilans partiels». Les hydrogrammes sont divisés en 25 périodes dont les limites correspondent aux dates des 24 prélèvements annuels ; pour chaque période sont calculés une concentration moyenne pondérée par le débit  $\overline{C_{i-1}}$ , à partir des concentrations et des débits mesurés au début et à la fin de cet intervalle de temps :

$$\overline{C_{i-1}} = \frac{C_i Q_i + C_{i-1} Q_{i-1}}{Q_i + Q_{i-1}}, \text{ i variant de 1 à 25}$$

et un volume écoulé moyen  $\overline{V_{i-1}}$  obtenu à partir des débits journaliers  $Q_j$  de la période considérée :

$$\overline{V_{i-1}} \text{ (m}^3\text{)} = 24 \times 3\,600 \sum Q_j \text{ (m}^3\text{/s)}, \text{ où j est le nombre de jours de la période considérée.}$$

Les résultats obtenus pour des flux spécifiques (quantités évacuées annuellement rapportées au km<sup>2</sup>) figurent dans le tableau 3 ; en ce qui concerne les sulfates, les teneurs sont fréquemment proches du seuil de détection (1 µmole/l) ; ces valeurs de flux ne sont données qu'à titre indicatif. D'autres méthodes, ne prenant en compte que les 24 valeurs de concentrations et des débits correspondant aux jours des prélèvements, permettent également un calcul des flux annuels. Les résultats fournis pour ces méthodes de calcul, pourtant moins élaborées, ne s'écartent que de 3 % au maximum des flux déterminés par la méthode des «bilans partiels» ; ceci doit vraisemblablement être imputé au fait que les débits journaliers varient de façon assez régulière tout au long des trois cycles hydrologiques considérés. Des dosages du fer (limite de détection 10 µg/l) et de l'aluminium (limite de détection 50 µg/l) par ICP-E (SAMUEL, ROUAULT et BESNUS, 1985) ont été effectués sur nos échantillons d'eaux du Niger. A partir des concentrations mesurées, on a calculé un flux de l'ordre de 20 kg/km<sup>2</sup>.an pour le fer, et de l'ordre de 15 kg/km<sup>2</sup>.an pour l'aluminium ; ces flux ne sont donnés qu'à titre indicatif car il faut savoir qu'une précipitation partielle de ces éléments (notamment de l'aluminium) peut se produire sur les parois des flacons lorsque la date de l'analyse est trop éloignée de celle du prélèvement.

Les flux spécifiques apparaissent dans l'ensemble légèrement croissants entre 1990, 1991 et 1992, tout comme les débits annuels moyens donnés dans le tableau 1. Les valeurs de flux qui ont été estimées dans ce travail sont comparées ci-dessous (tabl. 4) à celles obtenues en différentes stations sur le Niger, ou sur d'autres fleuves d'Afrique tropicale résitués sur la figure 6.

#### Flux d'éléments dissous

Les flux spécifiques en éléments dissous à Bamako calculés sur la période 1990-1991-1992 sont voisins de ceux donnés par ORANGE (1992) à la station de Siguiri —située à environ 200 km en amont— pour l'année 1987 ; la valeur relativement élevée du flux de chlorures à Siguiri doit vraisemblablement être imputée aux apports par les eaux des pluies. En ce qui concerne la silice, les flux obtenus en ces deux stations sont intermédiaires entre

les valeurs estimés par MEYBECK (1979) pour la zone tropicale contrastée (2,35 t/km<sup>2</sup>/an) et pour la zone tropicale humide (4,15 t/km<sup>2</sup>/an).

Tabl. 3- Flux spécifiques en éléments dissous et particuliers exportés par le Niger à Bamako au cours de la période 1990-1992. Specific fluxes of dissolved and suspended matter exported by the Niger river at Bamako during the period 1990-1992

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SiO <sub>2</sub>	COD	MES	TDS
1990	0,434	0,245	0,197	0,409	3,475	0,070	0,043	2,743	-	4,594	7,616
1991	0,454	0,252	0,198	0,408	3,554	0,059	0,041	3,021	-	5,055	7,988
1992	0,471	0,234	0,201	0,476	3,820	0,057	0,031	3,091	0,455	4,944	8,382
Moyenne période	0,453 ± 0,024	0,244 ± 0,008	0,199 ± 0,006	0,431 ± 0,039	3,619 ± 0,213	0,062 ± 0,004	0,039 ± 0,005	2,955 ± 0,209	-	4,868 ± 0,287	8,001 ± 0,470

Les flux spécifiques sont exprimés en t/km<sup>2</sup>/an. Les flux ont été déterminés par la méthode des "bilans partiels" (24 échantillons annuels). La superficie du bassin versant du Niger supérieur à Bamako est de 117 000 km<sup>2</sup>.

MES : matières en suspension : TDS : éléments dissous sans le COD (carbone organique dissous) avant correction des apports des eaux de pluie et du CO<sub>2</sub> atmosphérique

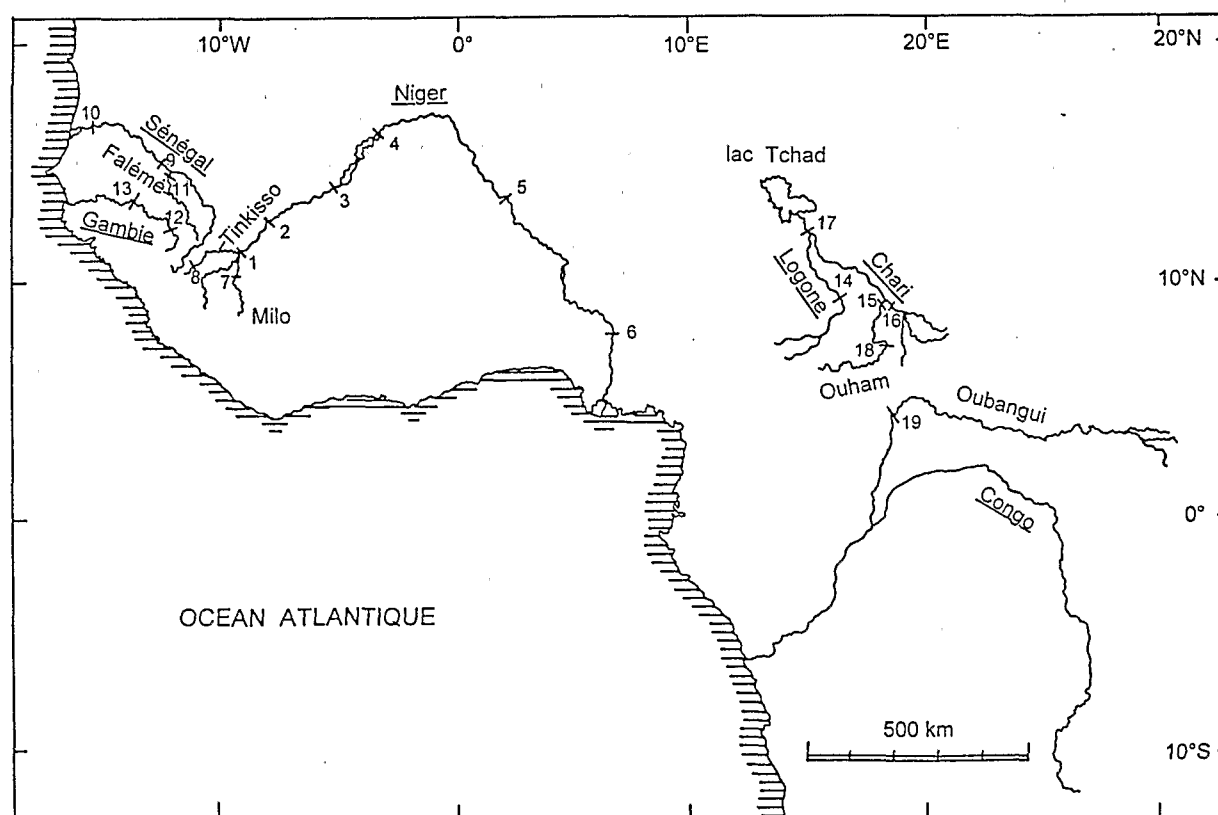


Fig. 6- Carte de localisation des stations d'Afrique tropicale dont les données sont compilées dans cette étude. Situation map of tropical Africa sampling stations whose data are reviewed in this study.

1 Siguiri (Niger amont). 2 Bamako (Niger amont). 3 Ké-Macina (entrée delta intérieur). 4 Diré (sortie delta intérieur). 5 Niamey (Niger moyen). 6 Lokoja (Niger aval). 7 Kankan (Milo aval). 8 Dabola (Tinkisso amont). 9 Bakel (Sénégal moyen). 10 Dagana (Sénégal aval). 11 Kidira (Falémé aval). 12 Kédougou (Gambie amont). 13 Gouloumbou (Gambie moyenne). 14. 15. 16 Laï. Manda. Sahr (Logone-Chari amont). 17 N'Djamena (Logone-Chari aval). 18 Batangafo (Ouham moyen). 19 Bangui (Oubangui aval)

Tabl. 4- *Flux spécifiques de matières en solution et en suspension sur quelques bassins fluviaux d'Afrique tropicale. Specific fluxes of dissolved and suspended matters for some river basins in tropical Africa*

Bassin versant	Station	Cycles hydro- logiques	Superficie (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	Débit (m <sup>3</sup> /s)	Drainage (mm/an)	Flux spécifiques (t/km <sup>2</sup> /an)										R <sub>m</sub>	Sources biblio
						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SiO <sub>2</sub>	TDS	TSS		
NIGER amont	SIGUIRI (Guinée)	1987	67,6	560	261	0,52	0,29	0,33	0,46	4,30	0,20	0,03	2,57	8,7	12,0	1,67	(1)
NIGER amont	BAMAKO (Mali)	1990-92	117	735	198	0,45	0,24	0,20	0,43	3,62	0,06	0,04	2,96	8,0	4,9	1,20	(2)
NIGER entrée cuvette	KE-MACINA, DOUNA (Mali)	1992/93	243	771	100	0,35	0,18	0,09	0,26	2,47	-	-	1,69	5,1	4,3	1,44	(3)
NIGER sortie cuvette	DIRE (Mali)	1992/93	340	578	53,6	0,18	0,11	0,05	0,14	1,21	-	-	0,75	2,5	2,3	1,60	(3)
NIGER moyen	NIAMEY (Niger)	1985	700	493	22,2	0,07	0,09	0,04	0,09	0,60	0,18	-	0,27	1,4	-	2,19	(4)
NIGER aval	LOKOJA (Nigeria)	1980/81	1200	4886	128	0,24	0,14	0,24	0,74	4,40	0,11	0,06	1,81	7,8	9,9	2,39	(6)
MILO	KANKAN (Guinée)	1987	9,6	133	437	1,08	0,52	0,39	0,84	7,42	0,37	-	5,65	16,3	21,3	1,29	(1)
TINKISSO amont	DABOLA (Guinée)	1987	6,4	50	246	0,72	0,23	0,66	0,58	6,93	0,11	-	3,33	12,5	8,0	2,05	(1)
SENEGAL	BAKEL (Sénégal)	1979-87	218	308	44,6	0,076	0,076	0,080	0,16	1,05	0,067	0,071	0,374	1,92	10,3	2,76	(1+7)
SENEGAL aval	DAGANA (Sénégal)	1981/82/83	270	374	43,7	0,084	0,079	0,076	0,15	1,06	0,058	-	0,334	1,85	10,6	3,13	(8)
FALEME aval	KIDIRA (Sénégal)	1979-85	28,9	57	62,2	0,17	0,14	0,15	0,35	2,01	0,23	0,07	0,610	3,73	16,6	3,24	(1)
GAMBIE amont	KEDOUGOU (Sénégal)	1987	7,5	59	249	0,33	0,25	0,38	0,91	5,42	0,20	-	2,80	10,30	7,9	1,92	(1)
GAMBIE	GOULOMBOU (Sénégal)	1983/84	42	60	45,2	-	-	-	-	-	-	-	-	1,79	2,1	-	(9)
LOGONE CHARI amont	LAI, MANDA, SAHR (Tchad)	1955/56 à 1974/75	330	1270	121	0,34	0,21	0,22	0,43	3,42	-	-	2,41	7,10	9,9	1,40	(10)
LOGONE CHARI aval	N'DJAMENA (Tchad)	1955/56 à 1974/75	600	1183	62,2	0,18	0,12	0,12	0,25	2,01	-	-	1,36	4,10	4,7	1,46	(10)
OUIHAM	BATANGAFO (RCA)	1969-70	44,7	326	230	0,64	0,46	0,33	0,55	5,45	-	-	4,94	12,93	9,3	1,08	(11)
OUBANGUI	BANGUI (RCA)	1987 1988/89	500	2840	179	0,36	0,28	0,24	0,58	3,40	0,14	0,14	2,36	7,60	5,8	1,42	(12)
Tropical contrasté	-	-	6900	35190	161	0,81	0,30	0,42	1,00	5,35	0,68	0,43	2,35	11,4	-	2,24	(13)
Tropical humide	-	-	4900	55860	360	1,80	0,60	1,30	3,00	16,50	1,50	1,40	4,15	30,3	-	3,92	(14)

R<sub>m</sub> = (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)/(SiO<sub>2</sub>) (mol/mol) ; TDS sans COD

(1) ORANGE (1992) ; (2) cette étude ; (3) GOURCY (1996) ; (4) CAMAIL *et al.* (1987) ; (5) GALLAIRE (1995) ; (6) MARTINS et PROBST (1991) ; (7) KATTAN *et al.* (1987) ; (8) GAC et KANE (1986a, 1986b) ; (9) LÔ (1984) ; (10) GAC (1980) ; (11) GAC et PINTA (1973) ; (12) OLIVRY *et al.* (1988) ; (13) PROBST *et al.* (1992) ; (14) MEYBECK (1979)

Les mesures effectuées par GOURCY (1996) au cours du cycle hydrologique 1992/93 montrent qu'à l'entrée du «delta intérieur» du Niger, les flux spécifiques de matières dissoutes sont nettement inférieurs à ceux que nous avons observés à Bamako. Un bilan établi par cet auteur met par ailleurs en évidence une forte diminution des flux entre l'entrée et la sortie de la cuvette : à la station de Diré, considérée comme exutoire du «delta intérieur», les flux ne représentent plus que 45 % à 65 % des entrées dans le système, ce qui traduit une perte en éléments dissous par précipitation biogéochimique notamment, dans cette cuvette lacustre.

Les analyses chimiques réalisées sur les eaux du Niger à la station de Niamey (CAMAIL *et al.*, 1987) nous ont permis de calculer les flux des différentes espèces dissoutes pour l'année 1985. Les valeurs obtenues, bien que certainement entachées d'une part de pollution urbaine, apparaissent dans l'ensemble nettement plus faibles qu'à la sortie du «delta intérieur», ce qui traduit une nette diminution de l'altération chimique sur les vastes zones sahéliennes constituant le bassin moyen du Niger.

Pour le Niger aval, les flux ont été déterminés à la station de Lokoja, à environ 450 km de l'embouchure, à partir des données publiées par MARTINS et PROBST (1991) sur le cycle hydrologique 1980-81. Alors que les valeurs correspondant au sodium, au potassium et à la silice sont beaucoup plus faibles qu'à Bamako, les flux en magnésium, bicarbonates et surtout en calcium y apparaissent nettement supérieurs. Les variations du rapport molaire  $R_m = (\text{HCO}_3^-)/(\text{SiO}_2)$  rendent par ailleurs bien compte d'une dissolution de formations carbonatées beaucoup plus importante dans les parties moyennes ( $R_m = 2,2$ ) et surtout aval ( $R_m = 2,4$ ) du bassin du Niger que dans le domaine amont ( $R_m = 1,5$ ).

A titre de comparaison, les flux de matières en solution (TDS) pour les différentes années étudiées par les auteurs cités précédemment sont de 8,7 t/km<sup>2</sup>/an à Siguiri, de 8,0 t/km<sup>2</sup>/an à Bamako, de l'ordre de 5 t/km<sup>2</sup>/an et de 2,5 t/km<sup>2</sup>/an à l'entrée et à la sortie de la cuvette du Niger, de 1,4 t/km<sup>2</sup>/an à Niamey et de 7,8 t/km<sup>2</sup>/an à Lokoja. Sur l'ensemble du bassin du Niger, GROVE (1972) indique pour le flux spécifique de matières en solution une valeur moyenne de 7,2 t/km<sup>2</sup>/an.

### Flux de matières en suspension

Le flux spécifique de matières en suspension (TSS) est, d'après nos mesures sur les années 1990-91-92, de 4,9 t/km<sup>2</sup>/an pour le Niger à Bamako. En amont, ORANGE (1992) obtient à la station de Siguiri la valeur beaucoup plus élevée de 11,9 t/km<sup>2</sup>/an pour l'année 1987, ce qui traduit une érosion mécanique nettement plus forte sur la partie supérieure du bassin couvrant notamment les retombées nord de la Dorsale guinéenne et est du Fouta Djallon. Il faut remarquer la valeur particulièrement élevée du flux de TSS du Milo à Kankan (21,3 t/km<sup>2</sup>/an) donnée par ORANGE (1992) ; l'érosion doit être particulièrement active dans la région située entre le haut plateau où cette rivière prend sa source et la plaine alluviale où elle se jette dans le Niger, région où les pentes sont les plus fortes.

Dans son étude sur le «delta intérieur» du Niger, GOURCY (1996) indique, pour le flux de TSS, une valeur de 4,3 t/km<sup>2</sup>/an à l'entrée et de 2,3 t/km<sup>2</sup>/an à la sortie sur le cycle 1992/93. Plutôt qu'un ralentissement de l'érosion mécanique, ces chiffres indiquent une active sédimentation au niveau de la cuvette lacustre. A Niamey, le flux déterminé à partir des tonnages en suspension pour l'année 1985 (GALLAIRE, 1995) est de 5,2 t/km<sup>2</sup>/an, témoignant d'une reprise de l'altération mécanique qui se confirme vers l'aval comme l'atteste la valeur de 9,9 t/km<sup>2</sup>/an déterminée par MARTINS et PROBST (1991) à Lokoja pour l'année hydrologique 1980/81. GROVE (1972) estime à 11,8 t/km<sup>2</sup>/an le flux de matières en suspension sur l'ensemble du bassin du Niger.

## COMPARAISON AVEC LES AUTRES BASSINS FLUVIAUX D'AFRIQUE TROPICALE

## Transports fluviaux dissous

Entre le Sénégal amont à la station de Bakel –à environ 600 km de l'embouchure– étudié par ORANGE (1992) sur la période 1979-1987, et le Sénégal aval à la station de Dagana –à environ 150 km de l'embouchure– étudié par GAC et KANE (1986a) sur les cycles hydrologiques 1981/82 et 1982/83, les variations des flux spécifiques de matières en solution se révèlent en général minimales ; ceci se répercute sur les valeurs, très voisines, obtenues pour les flux de matières dissoutes totales (TDS, silice incluse et COD exclu) : 1,92 t/km<sup>2</sup>/an à Bakel, 1,85 t/km<sup>2</sup>/an à Dagana pour les périodes considérées. La seule différence notable concerne les flux de sulfates : la valeur exceptionnellement faible correspondant à la station aval peut être attribuée aux très basses teneurs en sulfates des eaux de pluies de cette zone (où les précipitations annuelles sont inférieures à 250 mm), à caractère subdésertique. La comparaison entre les fleuves Niger et Sénégal amène deux enseignements : l'altération chimique garde une intensité assez constante entre l'amont et l'aval des deux bassins, même si ce ne sont pas les mêmes types de roches qui contribuent tout au long du fleuve à l'exportation de matières dissoutes ; l'érosion chimique est beaucoup plus active sur le bassin du Niger que sur celui du Sénégal : entre le flux de matières en solution (TDS) à Bamako et à Bakel intervient un facteur de l'ordre de 4, ce coefficient étant encore plus élevé dans le cas du sodium et de la silice. Ceci est principalement dû à l'intensité du drainage, qui est 3 à 5 fois supérieure sur le Niger.

GAC et PINTA (1973) ont établi le bilan de l'altération sur le haut bassin de l'Ouham, en République Centrafricaine, pour l'année hydrologique 1969/70. Pendant ce cycle, le flux de matières en solution (TDS) est de 12,9 t/km<sup>2</sup>/an pour l'Ouham, alors qu'il est de 8,0 t/km<sup>2</sup>/an pour le Niger à Bamako sur les trois années résolument sèches 1990-91-92 ; suivant les éléments, le rapport des flux entre ces deux bassins varie de 1,4 à 1,9. Il est donc vraisemblable que, pour une même période, le flux spécifique en éléments dissous du Niger supérieur et de l'Ouham amont soient très voisins, et donc que l'intensité de l'érosion chimique sur ces deux bassins soit tout à fait comparable.

Le flux de carbone organique dissous exporté par le Niger à Bamako pour l'année 1992 est de 0,455 t/km<sup>2</sup>/an, un peu plus faible que la valeur de 0,593 t/km<sup>2</sup>/an déterminée par MARTINS et PROBST (1991) en aval, à la station de Lokoja. Concernant l'Afrique tropicale, on peut également citer la valeur de 0,262 t/km<sup>2</sup>/an calculée par LESACK *et al.* (1984) pour la Gambie. A titre de comparaison, toutes ces valeurs sont plus faibles que celles fournies par LUDWIG *et al.* (1996) à l'échelle globale pour la zone tropicale sèche (1,043 t/km<sup>2</sup>/an) et pour la zone tropicale humide (3,818 t/km<sup>2</sup>/an).

La figure 7 met en évidence la corrélation entre le flux de TDS (sans le COD) et le drainage pour 17 bassins fluviaux d'Afrique tropicale (stations sur le Sénégal, la Gambie, le Niger, le Logone, le Chari, l'Oubangui et sur quelques affluents), à partir des données regroupées dans le tableau 4. Pour l'ensemble des 17 bassins considérés, on obtient une valeur moyenne du drainage pondérée par les surfaces de 113 mm/an, ce qui correspond d'après notre modèle à un flux spécifique moyen de TDS de 4,8 t/km<sup>2</sup>/an. On notera que le flux de 24 t/km<sup>2</sup>/an estimé par GARRELS et MACKENZIE (1971) sur l'ensemble des fleuves d'Afrique est nettement plus élevé que les différentes valeurs citées ici pour la zone tropicale. Il est certain cependant qu'une moyenne établie sur un continent entier intègre d'importantes hétérogénéités lithologiques et climatiques.

## Transports fluviaux de matières en suspension

Le flux de TSS sur le Sénégal amont à Bakel pour la période 1979-1987 est de 10,3 t/km<sup>2</sup>/an (ORANGE, 1992), très proche de la valeur de 10,6 t/km<sup>2</sup>/an obtenue sur le Sénégal aval à Dagana par GAC et KANE (1986b) sur le cycle 1981/82. Pour l'Ouham, affluent du Chari, le flux de TSS sur le bassin amont d'après les mesures de GAC et PINTA (1973) est de 9,3 t/km<sup>2</sup>/an sur le cycle 1969/70, correspondant à une période relativement plus humide que les années prises en compte dans le cas des autres bassins (entre 1979 et 1992).

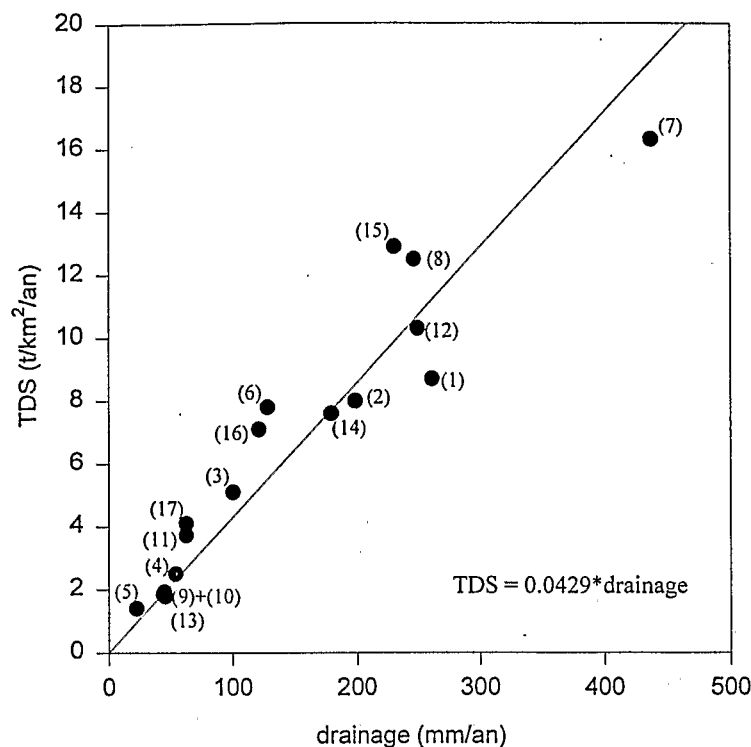


Fig. 7- Relation entre le transport spécifique en éléments dissous et l'intensité du drainage pour 17 bassins fluviaux d'Afrique tropicale. Relationship between solute river transport and drainage intensity for 17 river basins of tropical Africa.

(1) Niger à Siguiri, (2) Niger à Bamako, (3) Niger entrée delta intérieur, (4) Niger sortie delta intérieur, (5) Niger à Niamey, (6) Niger à Lokoja, (7) Milo, (8) Tinkisso, (9) Sénégal à Bakel, (10) Sénégal aval, (11) Falémé, (12) Gambie amont, (13) Gambie aval, (14) Oubangui, (15) Ouham, (16) Chari-Logone amont, (17) Chari-Logone aval

Les valeurs des flux de matières en suspension (TSS) citées ci-dessus sont beaucoup plus faibles que celles relatives à des zones morphoclimatiques comparables qu'on trouve généralement dans la littérature. Pour le domaine climatique caractérisé par le développement de la savane, MEYBECK (1984) estime le flux moyen en suspension à 90 t/km²/an, flux qui peut être rapproché des 60 t/km²/an retenu par LISITZIN (1972) sur l'ensemble du bassin du Niger. Pour le continent africain, les flux spécifiques de TSS sont estimés à 17 t/km²/an par GARRELS et MACKENZIE (1971), à 25 t/km²/an par HOLEMAN (1968), à 35 t/km²/an par MILLIMAN et MEADE (1983), et jusqu'à 48 t/km²/an par ALEKIN (1978).

Sur la figure 8 ont été reportés les flux de matières en suspension (TSS) en fonction du drainage pour les 17 bassins fluviaux d'Afrique tropicale mentionnés plus haut (voir données, tabl. 4). D'après cette figure, une distinction nette peut être établie entre les bassins d'un domaine sec (drainage < 100 mm/an, valeur moyenne = 42 mm/an) et les bassins d'un domaine humide (drainage > 150 mm/an, valeur moyenne = 187 mm/an), même si les flux moyens de TSS, respectivement de 5,8 et de 5,9 t/km²/an, y sont très voisins. Néanmoins, sur les bassins du domaine humide, on met en évidence une augmentation du flux de TSS avec le drainage, alors que dans le cas des bassins du domaine sec, les flux de TSS, très variables, semblent indépendants du drainage. Entre ces deux domaines, quelques bassins versants pour lesquels le drainage moyen est de 126 mm/an présentent un flux spécifique moyen de 9,9 t/km²/an (toutes les valeurs moyennes indiquées ci-dessus ont été pondérées par les surfaces). Si une diminution de TSS entre l'amont et l'aval peut être mise en évidence dans certains cas (bassin de la Gambie, du Logone-Chari), l'évolution du flux de matières en suspension reste avant tout réglée par le drainage ; dans l'exemple du Niger, le flux de TSS diminue entre Siguiri et le delta intérieur, mais augmente fortement en aval de la cuvette et jusqu'à Lokoja.

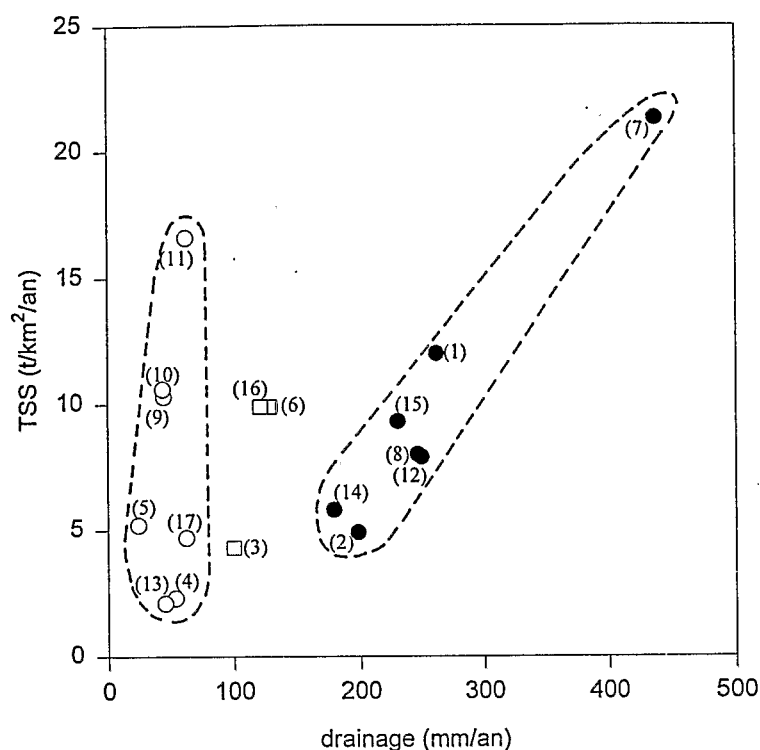


Fig. 8- Relation entre le transport spécifique de matières en suspension et l'intensité du drainage pour 17 bassins fluviaux d'Afrique tropicale. Relationship between river suspended sediment transport and drainage intensity for 17 river basins in tropical Africa.

(1) Niger à Siguiri, (2) Niger à Bamako, (3) Niger entrée delta intérieur, (4) Niger sortie delta intérieur, (5) Niger à Niamey, (6) Niger à Lokoja, (7) Milo, (8) Tinkisso, (9) Sénégal à Bakel, (10) Sénégal aval, (11) Falémé, (12) Gambie amont, (13) Gambie aval, (14) Oubangui, (15) Ouham, (16) Chari-Logone amont, (17) Chari-Logone aval

## CONCLUSIONS

Les variations annuelles des concentrations que nous avons mesurées sur le bassin amont du Niger à la station de Bamako au cours de la période sèche 1990-1993, ainsi que les flux annuels de matières en solution et de matières en suspension que nous avons calculés, montrent une très faible variabilité au cours des trois années de mesures.

Dans l'ensemble, les courbes de variations des concentrations des différentes espèces dissoutes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) présentent une allure très comparable tout au long du cycle annuel. Les teneurs les plus élevées correspondent à la saison sèche, les teneurs les plus faibles à la saison humide. Pour une espèce donnée, le rapport entre les concentrations maximales et minimales est de l'ordre de 2. Toutefois, pour la silice dissoute, l'amplitude de ces variations est nettement plus faible. Le flux de TDS à Bamako, estimé à 8 t/km²/an, est en concordance avec les valeurs données aux stations plus amont, en Guinée et plus aval, au Nigeria. Les principales espèces exportées en solution sont les bicarbonates et la silice ; viennent ensuite, dans un ordre décroissant : le sodium, le calcium, le potassium, le magnésium puis les chlorures et les sulfates dont les flux sont très faibles.



Les concentrations en MES présentent de très fortes variations (entre 2 mg/l et 60 mg/l) au cours de l'année ; les valeurs maximales sont atteintes 4 à 6 semaines avant le pic des débits. Le flux de TSS à Bamako, de l'ordre de 5 t/km<sup>2</sup>/an, est faible par rapport à ceux calculés aux stations de Guinée et du Nigeria, ce qui traduit une diminution de l'érosion mécanique ou une reprise de la sédimentation dans la partie nord-guinéenne et malienne du bassin du Niger.

Ces flux vont nous permettre dans un deuxième temps d'établir un bilan quantitatif de l'altération sur l'ensemble du bassin amont du Niger, comportant notamment le calcul de la vitesse actuelle d'enfoncement des profils latéritiques et du flux de gaz carbonique consommé par l'altération (BOEGLIN et PROBST, en préparation).

Une comparaison des valeurs des flux de matières pour les principaux bassins d'Afrique tropicale (Niger, Sénégal, Gambie, Logone, Chari, Oubangui ...) nous a permis de mettre en évidence pour cette région bioclimatique une bonne corrélation entre les flux de matières en solution (TDS) exportés par les fleuves et l'intensité du drainage. Les flux de matières en suspension (TSS) s'avèrent croissants avec le drainage dans le cas des bassins des zones les plus humides (drainage > 150 mm/an). En revanche, ils semblent être indépendants du drainage pour les bassins des zones les plus sèches (drainage < 100 mm/an). Ces modèles nous ont permis d'estimer une valeur moyenne des transports dissous (TDS = 6,2 t/km<sup>2</sup>/an) et particulaires (TSS = 7,9 t/km<sup>2</sup>/an) pour l'Afrique tropicale occidentale et centrale (correspondant à un drainage moyen de 113 mm/an), révisant ainsi à la baisse les valeurs trop élevées publiées auparavant par différents auteurs.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALEKIN O.A. (1978) - Water erosion of land surface. In «World water balance and water resources of the earth». *Studies and Reports in Hydrology*, 25, Unesco press, 663 p.
- BASSOT J.P., MELOUX J. & TRAORE H. (1981) - Carte géologique au 1.500.000<sup>ème</sup> de la République du Mali (avec notice, 137 p.). Dir. Nat. Géologie et Mines, Bamako.
- BESSOLES B. (1977) - Géologie de l'Afrique. Le craton ouest-africain. *Mém. BRGM*, 88, 402 p.
- BOEGLIN J.L. & PROBST J.L. (en préparation) - Dynamic of continental weathering and CO<sub>2</sub> consumption in a tropical environment : The upper Niger basin.
- BOULVERT Y. (1992) - Eléments d'atlas climatologique de la région guinéenne et péri-guinéenne. Rapp. ORSTOM, Bondy, 16 p., 23 cartes.
- BOURDEAU A. (1991) - Les bauxites du Mali. Géochimie et minéralogie. Thèse Doct. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 336 p. + annexes.
- BRUNET-MORET Y., CHAPERON P., LAMAGAT J.P. & MOLINIER M. (1986) - Monographie hydrologique du fleuve Niger. Tome I : Niger supérieur. *Monographies hydrologiques ORSTOM*, 8, 396 p.
- CAMAIL M., MAHAMANE M., PUCCI B. & RIGAUD J.P. (1987) - Analyses chimiques des eaux du fleuve Niger à Niamey. Premiers résultats d'une campagne annuelle de mesures. *Hydrol. Continent.*, 2, (2), p. 87-99
- DNHE (1981-1993) - Annuaire hydrologiques du Mali. Dir. Nat. Hydraulique et Energie, Bamako.
- DNM (1990 - 1992) - Annuaire climatologiques du Mali. Dir. Nat. Météorologie, Bamako.
- FREYSSINET P. (1990) - Géochimie et minéralogie des latérites du Sud-Mali. Evolution des paysages et prospection géochimique de l'or. Thèse Doct. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 269 p.
- GAC J.Y. (1980) - Géochimie du bassin du lac Tchad. Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation. *Trav. et Doc. ORSTOM*, Paris, 123, 251 p.
- GAC J.Y. & FAURE H. (1987) - Le «vrai» retour à l'humide au Sahel est-il pour demain ? *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305, II, p. 777-781.
- GAC J.Y. & KANE A. (1986b) - Le fleuve Sénégal. I : Bilan hydrologique et flux continentaux de matières particulaires à l'embouchure. *Sci. Géol., Bull.*, 39, (1), p. 99-130.

- GAC J.Y. & KANE A. (1986a) - Le fleuve Sénégal. II : Flux continentaux de matières dissoutes à l'embouchure. *Sci. Géol., Bull.*, 39, (2), p. 151-172.
- GAC J.Y. & PINTA M. (1973) - Bilan de l'érosion et de l'altération en climat tropical humide. Estimation de la vitesse d'approfondissement des profils. Etude du bassin versant de l'Ouham (République Centrafricaine). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, 5, (1), p. 83-96.
- GALLAIRE R. (1995) - Données sur les transports du Niger moyen entre Kandadji et Niamey. In «Grands bassins fluviaux périalatitiques», J.C. OLIVRY & J. BOULEGUE (Eds), Edition ORSTOM, p. 317-332.
- GARRELS R.M. & MACKENZIE F.T. (1971) - Evolution of sedimentary rocks. Norton, New York, 397 p.
- GOURCY L. (1996) - Le delta central du fleuve Niger agit-il comme un piège à éléments dissous et particuliers ? *Sci. Géol., Bull.*, 49, p. 47-69.
- GROVE A.T. (1972) - The dissolved and solid load carried by some west african rivers : Senegal, Niger, Benue and Chari. *J. Hydrol.*, 16, (4), p. 277-300.
- HOLEMAN J.N. (1968) - The sediment field of major rivers of the world. *Water Resources Res.*, 4, (4), p. 737-747.
- KATTAN Z., GAC J.Y. & PROBST J.L. (1987) - Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin. Estimation of the surface runoff concentration and relative contribution of channel and slope erosions. *J. Hydrology*, 92, p. 59-76.
- KREMPP G. (1988) - Technique de prélèvement des eaux naturelles et des gaz associés. Méthodes d'analyse des eaux et des roches. Note technique Inst. Géol., Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 19, 79 p.
- LEPRUN J.C. (1979) - Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche : genèse, transformations, dégradation. *Sci. Géol., Mém.*, 58, 224 p.
- LESACK L.R., HECKY R.E. & MELACK J.M. (1984) - Transport of carbon, nitrogen, phosphorus and major solutes in the Gambia river, West Africa. *Limnol. Oceanogr.*, 29, p. 816-830.
- LISITZIN A.P. (1972) - Sedimentation in the world ocean. *Soc. Econ. Paleo. Min.*, special publication, 17, Tulsa, Oklahoma.
- LÔ H.M. (1984) - Le bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou. Contribution à l'hydrologie et à la dynamique fluviales en milieu tropical humide africain. Thèse 3e cycle, Univ. Nancy II, 396 p.
- LUDWIG W., PROBST J.L. & KEMPE S. (1996) - Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion. *Global Biogeochemical Cycles*, 10, (1), p. 23-41.
- MAIGNIEN R. (1958) - Le cuirassement des sols en Guinée (Afrique occidentale). *Mém. Serv. Carte géol. Alsace-Lorraine*, Strasbourg, 16, 239 p.
- MARTINS O. & PROBST J.L. (1991) - Biogeochemistry of major african rivers : Carbon and mineral transport. In «Biogeochemistry of major world rivers», E.T. DEGENS, S. KEMPE & J.E. RICHEY (Eds), SCOPE 42, Wiley, chap. 6, p. 129-155.
- MAZALTARIM D. (1989) - Géochimie des cuirasses ferrugineuses et bauxitiques de l'Afrique occidentale et centrale. Thèse Doct. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 263 p. + annexes.
- MEYBECK M. (1979) - Concentrations des eaux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océans. *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.*, 21, (3), p. 215-246.
- MEYBECK M. (1984) - Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse Sci., Univ. Paris VI, 558 p.
- MILESI J.P., DIALLO M., FEYBESSE J.L., KEYTA F., LEDRU P., VINCHON C. & DOMMANGET A. (1986) - Caractérisation lithostructurale de deux ensembles successifs dans les séries birrimiennes de la boutonnière de Kégoudou (Mali-Sénégal) et du Niandan (Guinée). Implications géologiques. *CIFEG, Publi. occasionnelle*, 10, p. 113-181.
- MILLIMAN J.D. & MEADE R.H. (1983) - World-wide delivery of river sediments to the oceans. *J. Geol.*, 91, p. 1-21.
- NAHON D. (1976) - Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal oriental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence. *Sci. Géol., Mém.*, Strasbourg, 44, 232 p.
- OLIVRY J.C., BRICQUET J.P., THIEBAUX J.P. & SIGHA N. (1988) - Transport de matière sur les grands fleuves des régions intertropicales : les premiers résultats des mesures de flux particuliers sur le bassin du fleuve Congo. *Sediment budgets, I.A.H.S. Pub.*, 174, p. 509-521.

- ORANGE D. (1992) - Hydroclimatologie du Fouta Djallon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique (Afrique de l'Ouest). *Sci. Géol., Mém.*, 93, 206 p.
- PEDRO G. (1968) - Distribution des principaux types d'altération chimique à la surface du globe. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 10, p. 457-470.
- PROBST J.L., NKOUNKOU R.R., KREMPP G., BRICQUET J.P., THIEBAUX J.P. & OLIVRY J.C. (1992) - Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangui rivers during the period 1987-1989. *J. Hydrol.*, 135, p. 237-257.
- SAMUEL J., ROUAULT R. & BESNUS Y. (1985) - Analyse multiélémentaire standardisée des matériaux géologiques en spectrométrie d'émission par plasma à couplage inductif. *Analisis*, 13, (7), p. 312-317.
- SIRCOULON J. (1976) - Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale ; comparaison avec les sécheresses «1913» et «1940». *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, 13, p. 75-174.
- SOW A. (1984) - Pluie et écoulement fluvial dans le bassin du fleuve Sénégal. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Nancy II, 435 p.
- TARDY Y. (1993) - Pétrologie des latérites et des sols tropicaux. Masson, Paris, 459 p.

---

## ANNEXE

Résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les échantillons d'eau prélevés chaque semaine sur le fleuve Niger à Bamako au cours de la période 1990-1993.

*Results of physico-chemical analyses on the Niger River water samples collected each week at Bamako during the period 1990-1993.*

Résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les échantillons d'eau prélevés chaque semaine sur le fleuve Niger à Bamako au cours de la période 1990-1993.

date	débit m <sup>3</sup> /s	hauteur d'eau (cm)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	S <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	S <sup>2-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Sr	Ba	COD	MES	t°C	pH	Cond.
				μmole/l	μmole/l	μmole/l	μeq/l	μmole/l	μmole/l	μmole/l	μeq/l	μmole/l	μg/l	μg/l	mg/l	mg/l			μs/cm
13/01/90	165,8	78,0	137,0	40,0	58,0	77,0	447,0	432,0	9,0	2,0	446,0	280,0	35,0	30,0		2,0	21,7	7,35	36,15
27/01/90	110,2		143,0	40,0	60,0	83,0	469,0	456,0	10,0	2,0	471,0	260,0	37,0	29,0		2,0	19,9	7,36	39,85
13/02/90	89,3		143,0	44,0	61,0	84,0	477,0	465,0	10,0	1,0	479,0	248,0	39,0	31,0		2,0	22,0	7,44	41,55
27/02/90	91,0	60,0	143,0	47,0	63,0	84,0	484,0	467,0	10,0	2,0	485,0	241,0	40,0	32,0		2,0	23,0	7,42	42,46
14/03/90	77,7	65,0	141,0	49,0	63,0	84,0	484,0	471,0	10,0	1,0	485,0	226,0	40,0	33,0		1,4	23,1	7,59	42,76
29/03/90	97,5	74,0	147,0	51,0	67,0	89,0	510,0	483,0	12,0	4,0	504,0	205,0	42,0	32,0		3,2	26,3	7,62	44,26
13/04/90	104,3	77,0	140,0	51,0	66,0	86,0	495,0	472,0	10,0	1,0	487,0	197,0	41,0	34,0		3,3	28,5	7,60	43,56
28/04/90	135,5	79,0	147,0	55,0	66,0	95,0	527,0	486,0	14,0	4,0	511,0	212,0	41,0	33,0		7,0	30,9	7,54	46,36
14/05/90	140,4	88,0	150,5	53,2	64,3	103,7	540,0	508,0	10,4	1,2	522,0	209,4	45,5	47,9		7,5	30,6	7,36	48,76
28/05/90	184,3	92,0	148,0	54,9	64,3	100,9	533,0	510,0	13,3	1,1	527,0	209,4	45,5	47,5		6,8	29,5	7,40	48,67
12/06/90	276,9	113,0	143,4	55,4	60,9	95,0	511,0	480,0	14,9	1,0	498,0	216,1	40,5	40,7		14,9	30,8	7,40	46,21
28/06/90	286,7	140,0	150,0	49,0	59,0	86,0	489,0	453,0	18,0	3,0	477,0	208,0	37,1	40,1		29,5	27,5	7,44	45,96
13/07/90	418,3	147,0	125,0	46,0	49,0	67,0	404,0	367,0	15,0	4,0	390,0	188,0	30,5	39,1		29,6	29,1	7,35	37,75
28/07/90	1062,8	204,0	85,0	42,0	38,0	47,0	298,0	265,0	11,0	4,0	287,0	188,0	21,9	32,6		53,6	27,5	7,17	28,64
13/08/90	1257,8	226,0	85,0	36,0	35,0	46,0	283,0	254,0	11,0	3,0	275,0	222,0				41,6			
28/08/90	1901,3	258,0	86,0	33,0	34,0	45,0	277,0	248,0	11,0	3,0	266,0	241,0	21,0	24,0		37,4		7,20	24,93
13/09/90	2271,8	268,0	87,0	32,0	37,0	47,0	287,0	257,0	11,0	3,0	278,0	239,0	24,0	26,0		31,9		7,28	25,73
29/09/90	2486,3	300,0	82,0	24,0	43,0	46,0	284,0	262,0	7,0	1,0	271,0	222,0	22,0	22,0		20,4		7,26	25,33
12/10/90	2164,5	280,0	94,0	26,0	41,0	49,0	300,0	278,0	9,0	2,0	291,0	251,0	26,0	24,0		18,4		7,23	26,94
27/10/90	1433,3	226,0	98,0	27,0	41,0	50,0	307,0	288,0	10,0	2,0	302,0	260,0				11,1	29,3		
13/11/90	832,7	175,0	107,0	28,0	41,0	52,0	321,0	300,0	11,0	2,0	315,0	268,0	28,0	24,0		7,3	28,3	7,31	28,94
28/11/90	530,4	140,0	118,0	30,0	47,0	57,0	356,0	335,0	9,0	2,0	348,0	282,0	32,0	27,0		4,5	25,6	7,32	31,84
12/12/90	389,0	120,0	125,0	32,0	48,0	60,0	373,0	354,0	10,0	1,0	366,0	286,0	33,0	30,0		2,0	25,1	7,33	33,74
28/12/90	276,9	100,0	137,0	34,0	53,0	63,0	403,0	388,0	10,0	2,0	402,0	287,0	34,0	27,0		2,0	19,2	7,57	36,15
12/01/91	183,3	75,0	134,0	39,0	52,0	71,0	419,0	397,0	13,0	2,0	414,0	271,0	34,0	30,0		1,7	21,6	7,52	37,75
28/01/91	143,3	60,0	134,0	39,0	54,0	70,0	421,0	400,0	11,0	2,0	415,0	269,0	36,0	30,0		1,9	23,2	7,54	38,15
11/02/91	114,1		138,0	40,0	55,0	71,0	430,0	411,0	10,0	2,0	425,0	264,0	36,0	30,0		2,8	23,7	7,49	38,95
26/02/91	119,0		133,0	41,0	56,0	69,0	424,0	407,0	8,0	1,0	417,0	260,0	37,0	32,0		2,3	24,2	7,58	38,25
13/03/91	123,8	110,0	132,0	42,0	56,0	68,0	422,0	402,0	12,0	1,0	419,0	264,0	38,0	32,0		3,2	27,4	7,52	38,25
30/03/91	91,8		133,0	42,0	57,0	73,0	435,0	414,0	11,0	1,0	427,0	271,0	39,0	35,0		3,9	28,4	7,52	39,45
19/04/91	79,6	110,0	134,0	42,0	56,0	75,0	438,0	425,0	10,0	1,0	437,0	275,0	38,0	31,0		3,6	29,2	7,48	39,45
30/04/91	108,2		139,0	44,0	57,0	75,0	447,0	430,0	10,0	1,0	442,0	278,0	38,0	29,0		3,4	29,8	7,50	40,45
14/05/91	101,4	100,0	142,0	44,0	58,0	81,0	464,0	447,0	10,0	1,0	459,0	285,0	42,0	30,0		2,7	29,9	7,55	41,55
28/05/91	119,0	100,0	146,0	44,0	57,0	80,0	464,0	447,0	10,0	1,0	459,0	277,0	39,0	29,0		2,9	30,2	7,52	41,55
10/06/91	272,0		146,0	47,0	54,0	75,0	451,0	425,0	14,0	1,0	441,0	266,0	36,0	30,0		11,0		7,47	40,35
27/06/91	161,9	135,0	149,0	50,0	57,0	77,0	467,0	441,0	15,0	2,0	460,0	249,0	38,0	31,0		9,9	30,0	7,49	42,05
13/07/91	604,5	180,0	123,0	49,0	47,0	62,0	390,0	363,0	13,0	3,0	382,0	211,0	32,0	27,0		33,6	29,7	7,53	35,75
27/07/91	994,5	208,0	100,0	43,0	37,0	46,0	309,0	278,0	10,0	4,0	298,0	236,0	24,0	23,0		40,4	27,1	7,41	28,84
10/08/91	838,5	200,0	91,0	37,0	38,0	44,0	292,0	263,0	10,0	3,0	283,0	240,0	23,0	21,0		36,4	28,1	7,31	27,04
27/08/91	2018,3	290,0	84,0	33,0	33,0	43,0	269,0	242,0	8,0	3,0	256,0	240,0	21,0	23,0		47,2		7,18	24,63
12/09/91	2964,0	345,0	87,0	31,0	39,0	47,0	290,0	265,0	8,0	2,0	277,0	241,0	20,0	25,0		30,8		7,25	26,43
27/09/91	2496,0	325,0	88,0	28,0	39,0	52,0	298,0	276,0	8,0	2,0	288,0	246,0	22,0	23,0		26,7		7,25	26,94

Results of physico-chemical analyses on the Niger River water samples collected each week at Bamako during the period 1990-1993.

14/10/91	2613,0	310,0	89,0	31,0	38,0	48,0	292,0	269,0	7,0	2,0	280,0	250,0	24,0	25,0	25,6	28,4	7,28	26,23
28/10/91	1745,3	257,0	104,0	26,0	40,0	48,0	306,0	288,0	7,0	2,0	299,0	269,0	25,0	24,0	15,2	28,6	7,34	28,14
16/11/91	903,8	190,0	110,0	26,0	45,0	51,0	328,0	310,0	7,0		319,0	275,0	27,0	25,0	7,1		7,31	31,44
02/12/91	471,9	151,0	119,0	26,0	48,0	56,0	353,0	334,0	8,0		344,0	284,0	28,0	27,0	2,6	24,5	7,30	31,44
14/12/91	357,8	135,0	129,0	27,0	50,0	59,0	374,0	353,0	10,0	2,0	367,0	288,0	29,0	28,0	2,6	23,1	7,42	33,54
30/12/91	248,6	120,0	130,0	31,0	52,0	64,0	393,0	374,0	9,0	2,0	387,0	280,0	31,0	29,0	2,5	20,7	7,51	35,15
14/01/92	183,3	100,0	133,0	32,0	54,0	68,0	409,0	392,0	8,0	1,0	402,0	268,0	32,0	31,0	2,14	20,5	7,42	36,45
28/01/92	145,3	90,0	134,0	34,0	55,0	69,0	416,0	395,0	8,0	1,0	405,0	261,0	34,0	30,0	2,05	21,5	7,46	37,25
12/02/92	133,6	70,0	138,0	36,0	57,0	69,0	426,0	404,0	8,0	1,0	414,0	270,0	34,3	40,9	2,45	24,1	7,65	36,75
28/02/92	120,9	80,0	138,0	37,0	55,0	67,0	419,0	399,0	8,0	1,0	409,0	268,0	34,0	39,3	2,07	1,9	7,56	36,95
15/03/92	125,8		137,0	39,0	58,0	73,0	438,0	416,0	8,0	1,0	426,0	273,0	36,0	43,1	2,60	1,9	7,64	38,75
28/03/92	101,4		128,0	40,0	57,0	73,0	428,0	405,0	8,0		413,0	268,0	35,6	43,8	2,40	1,9	7,63	36,25
13/04/92	130,7	70,0	131,0	40,0	56,0	71,0	425,0	400,0	9,0		409,0	273,0	34,8	43,6	2,70	2,4	7,54	36,45
28/04/92	148,2	80,0	130,0	40,0	54,0	71,0	420,0	396,0	10,0		406,0	274,0	33,6	39,0	2,90	3,9	7,54	36,45
13/05/92	140,4	80,0	139,0	41,0	56,0	76,0	444,0	419,0	10,0		429,0	285,0	35,3	39,1	2,45	3,8	7,49	38,65
28/05/92	105,3	80,0	148,0	43,0	59,0	80,0	469,0	439,0	10,0		449,0	284,0	35,8	38,4	2,30	6,0	7,44	41,15
13/06/92	236,0	110,0	147,0	44,0	54,0	73,0	445,0	416,0	10,0	1,0	429,0	273,0	32,4	34,5	2,40	10,5	7,50	39,15
27/06/92	342,2	125,0	140,0	46,0	51,0	68,0	424,0	382,0	12,0	6,0	406,0	276,0	30,9	35,9	2,45	19,5	7,24	38,25
13/07/92	626,0	160,0	120,0	43,0	45,0	59,0	371,0	333,0	15,0	4,0	356,0	254,0	26,8	35,2	2,66	30,6	7,24	33,84
28/07/92	925,3	190,0	100,0	38,0	35,0	46,0	300,0	268,0	10,0	3,0	284,0	253,0	25,7	35,0	3,95	61,2	7,12	
12/08/92	1296,8	231,0	94,0	32,0	34,0	44,0	282,0	252,0	9,0	2,0	265,0	252,0	18,9	28,8	2,33	41,0	7,16	25,73
28/08/92	1589,3	255,0	91,0	31,0	36,0	45,0	284,0	263,0	8,0	2,0	275,0	246,0	20,1	29,7	2,13	36,1	7,28	25,23
12/09/92	2457,0	320,0	88,0	27,0	37,0	44,0	277,0	252,0	8,0	2,0	264,0	234,0	19,7	32,2	2,01	39,4	7,09	
28/09/92	3256,5	330,0	88,0	26,0	39,0	68,0	328,0	313,0	7,0		320,0	241,0	21,6	33,7	2,31	21,1	7,31	29,74
13/10/92	2057,3	272,0	100,0	25,0	40,0	76,0	357,0	340,0	7,0	2,0	351,0	261,0	24,3	32,5	2,07	14,8	7,47	32,64
28/10/92	1550,3	235,0	99,0	24,0	41,0	55,0	315,0	305,0	6,0		311,0	262,0	23,0	29,4	1,90	14,1	7,33	28,94
13/11/92	755,6	160,0	111,0	24,0	44,0	55,0	333,0	324,0	7,0		331,0	274,0	25,5	32,7	1,78	7,0	7,36	30,64
28/11/92	604,5	152,0	115,0	28,0	44,0	54,0	339,0	328,0	8,0	1,0	338,0	284,0	26,8	35,2	1,44	5,1	7,40	31,34
14/12/92	361,7	125,0	125,0	28,0	50,0	64,0	381,0	368,0	8,0		376,0	292,0	30,8	37,5	2,30	3,8	7,47	34,24
28/12/92	282,8	115,0	131,0	29,0	53,0	66,0	398,0	383,0	8,0	1,0	393,0	283,0	31,6	38,4	2,30	2,4	7,52	35,85
13/01/93	172,6	95,0	137,0	31,0	55,0	71,0	420,0	406,0	9,0		415,0	273,0	33,4	39,8	2,00	2,6	7,50	38,05
28/01/93	133,6	80,0	138,0	33,0	57,0	74,0	433,0	417,0	8,0	1,0	427,0	270,0	35,4	41,6	2,20	2,3	7,52	39,35
13/02/93	110,2	80,0	139,0	36,0	58,0	77,0	445,0	427,0	9,0	1,0	438,0	262,0	35,4	39,1	2,20	2,0	7,52	39,95
27/02/93	114,1	70,0	136,0	37,0	57,0	76,0	439,0	419,0	9,0	1,0	430,0	266,0	35,6	42,0	2,10	2,0	7,50	39,45
15/03/93	123,8	80,0	135,0	38,0	58,0	76,0	441,0	422,0	10,0		432,0	276,0	37,4	44,2	2,30	1,8	7,43	40,05
29/03/93	95,6	85,0	144,0	39,0	61,0	81,0	469,0	447,0	10,0		460,0	288,0	39,2	45,5	2,40	2,7	7,57	42,15
13/04/93	133,6	90,0	144,0	40,0	57,0	79,0	456,0	430,0	10,0		441,0	291,0	37,0	32,0	3,09	4,2	7,44	40,05
29/04/93	143,3	100,0	145,0	41,0	56,0	80,0	458,0	429,0	11,0		440,0	294,0	37,0	28,0	3,07	6,0	7,39	39,05
13/05/93	169,7	110,0	148,0	42,0	57,0	82,0	468,0	446,0	11,0	1,0	459,0	297,0	44,0	35,0	3,02	10,5	7,34	41,05
28/05/93	156,0	100,0	155,0	44,0	59,0	88,0	493,0	467,0	9,0		476,0	301,0	43,0	32,0	2,84	7,6	7,46	
14/06/93	204,8	100,0	155,0	44,0	63,0	83,0	491,0	456,0	18,0	1,0	479,0	286,0	42,0	33,0	2,94	14,0	7,30	44,06
28/06/93	300,3	120,0	145,0	48,0	52,0	72,0	441,0	415,0	12,0	2,0	431,0	281,0	38,0	29,0	2,83	19,0	7,25	40,05
13/07/93	525,5	148,0	138,0	47,0	45,0	63,0	401,0	383,0	12,0	2,0	399,0	266,0	32,0	29,0	3,16	29,5	7,20	37,05

